

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2017.03.011

欢迎按以下格式引用:董伟,徐博瀚,王立成. 工程事故案例分析在钢筋混凝土结构课程中的引入与运用[J]. 高等建筑教育,2017,26(3):47-50.

# 工程事故案例分析在钢筋混凝土结构课程中的引入与运用

董伟,徐博瀚,王立成

(大连理工大学 土木工程学院,辽宁 大连 116024)

**摘要:**钢筋混凝土结构是土木工程本科生专业必修课,也是他们未来从事设计、施工的重要理论基础。实际建筑工程中由于钢筋、混凝土的材料原因、施工原因、设计原因会引发各种工程事故。从结构角度分析,钢筋混凝土梁、板、柱等承重构件的破坏及变形是造成这些事故的主因。在课堂教学中,结合各章节的教学重点,有选择地对不同工程事故案例进行理论分析,在强化学生对知识点理解的同时,也增强了他们安全生产的意识,同时要求他们应用所学知识,对事故提出整改及预防措施。这种来源于工程、应用于工程的模式,培养了学生对钢筋混凝土结构学习的兴趣,为日后的工程设计、施工奠定良好的专业理论基础。

**关键词:**钢筋混凝土结构;工程事故;案例分析;教学研究

**中图分类号:**TU375-4      **文献标志码:**A      **文章编号:**1005-2909(2017)03-0047-04

钢筋混凝土结构是土木工程本科生专业必修课,也是他们未来从事设计、施工的重要理论基础。按照课程内容的性质,通常分为混凝土结构设计原理和混凝土结构设计两部分。混凝土结构设计原理重点讲述梁、柱等混凝土基本构件的受力性能及截面设计等基本理论;混凝土结构设计主要讲述梁板结构单层厂房、多层和高层房屋、公路、桥梁等结构设计,这些学习内容都可以在实际工程中找到相对应的实例。同时,随着钢筋混凝土结构在建筑中广泛使用,由于设计原因、施工原因或建筑物使用不当等原因<sup>[1]</sup>引发的钢筋混凝土结构事故不断出现,造成了巨大的人员伤亡及财产损失。从技术层面上说,这些事故的背后都隐藏着对混凝土材料性能的不了解及相关设计、施工理论知识的匮乏。

从教学理念和教学方法方面来说,钢筋混凝土结构与学生此前学习的具有严密科学逻辑和数学推导的基础课程有所不同,在要求学生理解课程理论知识的同时,又需要他们掌握材料、施工、构造等工程实践知识<sup>[2]</sup>。单纯课本知识的学习很难同时满足学生上述两方面知识学习的需求,而合理地引入、运用工程事故案例,则很大程度弥补了上述课堂教学的不足。首先通过对不同案例基本情况的介绍,帮助学生初步建立理论知识的工程背景,再进一步结合课堂知识的讲解,深入分析事故的成因,加深其对理论知识的理解,最后针对事故案例

收稿日期:2016-04-24

基金项目:大连理工大学教学改革基金课题(YB2016039, MS201337)

作者简介:董伟(1978-),男,大连理工大学土木工程学院副教授、博士、国家一级注册结构工程师,主要从事钢筋混凝土结构基本理论研究,(E-mail) dongwei@dlut.edu.cn.

启发其提出预防措施,巩固其对于知识点的掌握。我们在近年的课堂教学中,结合各章节的授课内容,引入钢筋混凝土结构工程事故案例,分析引发工程事故的原因,同时启发学生应用所学知识提出事故的预防及整改措施。该方法丰富了课堂教学的内容,激发了学生的学习兴趣,加深了学生对钢筋混凝土结构基本原理及设计方法的掌握和理解,提高了学生就业后从事设计与施工工作的安全意识与责任感。

### 一、工程事故案例的选择

按照《建筑结构可靠度设计统一标准》,工程事故可以定义为工程的“三个不正常、两个不满足”<sup>[3]</sup>。“三个不正常”指不正常设计、不正常施工、不正常使用;“两个不满足”指不满足承载能力极限状态、不满足正常使用极限状态。由工程事故的定义可见其包含范围很广,与建筑领域相关的事故都属于工程事故;同时其覆盖周期长,涵盖了工程结构的设计、施工及后期使用的整个过程。除去安全管理的因素,从技术的角度分析事故原因,可以发现其中大量事故的成因与钢筋混凝土结构课程的知识点是契合的。根据钢筋混凝土结构课程的安排,各章节依序分别重点介绍了材料特性、设计理论、梁柱承载力及配筋计算、正常使用极限状态验算、预应力设计方法以及梁板结构体系设计。可以看到工程事故中无论是“三个不正常”还是“两个不满足”,都在课

堂教学的知识点里得到了体现。因此,工程事故案例的选择应紧密围绕各章节教学的相关内容,做到有的放矢。

表1列出了对应钢筋混凝土结构主要章节知识点的事故案例,可以看到这些案例的事故原因都与各章节的重要知识点相对应,同时提供的一些必要的技术参数也为学生后期的计算校核提供了基本数据。以“钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算”为例,受弯构件正截面受弯承载力计算理论是本章节的核心内容,对应受弯构件的三种破坏形态也是重点学习内容,学生需掌握受弯构件正截面设计与承载力校核,并能正确地解决实际工程中受弯构件正截面受弯承载力计算问题,对应这一章节的工程事故案例应着重围绕承载力计算这个核心内容进行选择。由于施工的原因,工程中可能会出现少配、漏配受力钢筋的情况,这样就使得实际配筋梁的受弯承载力要小于梁的设计承载力,进而引发事故的发生。同时由于配筋的不足,梁破坏形态也会发生一定的改变,如破坏时变形增大、裂缝增宽、混凝土受压区域的缩短。由此我们选择了将设计配筋截面面积 $38\text{cm}^2$ 降低为 $32\text{cm}^2$ 所引发事故的案例,很好地与本章的重点内容相对应,而具体配筋面积的给出也为学生后期计算事故梁的承载力、分析具体事故原因提供了必要条件。

表1 各章节选用工程案例及对应知识点

相关章节	工程案例简介	知识点
材料物理力学性能	某在建工程发生坍塌事故 <sup>[1]</sup> ,在建的教学楼中厅距地面16m左右的模板突然坍塌。事故原因主要是脚手架材质不合格,塌落时混凝土养护龄期过短,材料强度不足造成构件承载力下降。	钢材物理力学性能;混凝土强度等级;龄期对混凝土强度的影响
结构设计计算原理	某钢筋混凝土框架倒塌,倒塌面积达 $989\text{m}^2$ <sup>[4]</sup> 。事故主要原因是因为设计中主梁荷载按照满布恒荷载计算,没有按照活荷载最不利进行计算,造成实际的配筋小于按最不利组合实际计算的配筋量。	《混凝土结构设计规范》实用设计表达式;荷载组合及分项系数的确定
受弯构件正/斜截面承载力计算	某厂采用12m屋面大梁,施工过程中突然全部垮塌 <sup>[4]</sup> 。事故原因主要是施工单位不按图纸施工,任意减少钢筋用量,如设计要求主钢筋截面用量为 $38\text{cm}^2$ ,而实际只有 $32\text{cm}^2$ ;箍筋设计为 $\phi 8@250\text{mm}$ ,而实际只有 $\phi 6@300\text{mm}$ 。	正截面受弯/剪构件承载力及配筋计算;正截面弯曲破坏的三种形态;斜截面剪切破坏的三种形态
受压构件承载力计算	某市百货大楼倒塌,有五根钢筋混凝土柱子塌毁 <sup>[4]</sup> 。事故原因主要是大部分柱子的混凝土强度未达到设计强度,此外施工中柱子振捣不足,有两根柱子存在50cm和100cm段无水泥砂浆的“石子”堆。	受压构件承载力计算方法;材料物理力学性能对受压承载力的影响
受扭构件承载力破坏	某工业厂房,框架边梁承受楼面次梁及悬臂板传递的局部荷载,主体结构完工时带悬臂板的边框架梁全部开裂 <sup>[5]</sup> 。事故原因主要是在边梁的配筋计算中忽视了扭矩的影响,造成构件抗扭承载力不足。	钢筋混凝土受扭构件的破坏形态及开裂扭矩;钢筋混凝土构件在弯剪扭共同作用下的承载力计算
正常使用极限状态验算	某桥梁2005年修建,运行六年后发现桥面板出现宽度超过3mm以上裂缝多条,后判定为危桥 <sup>[6]</sup> 。该桥在建设时,采用老式结构,且设计承载量小,但允许大量重型货车通行,导致桥面裂缝过宽成为危桥。	钢筋混凝土构件的抗裂验算;钢筋混凝土构件的裂缝宽度控制验算
预应力混凝土结构	某高速公路特大桥,在箱梁预应力张拉过程中,出现锚具垫板破裂 <sup>[7]</sup> 。造成事故的主要原因是垫板下混凝土局部承压力不满足要求,比设计值低8.5%;此外垫板存在沙眼、气泡,其质量不符合要求。	施加预应力的方法;后张法构件端部锚固区局部承压承载力的验算

## 二、工程事故案例在课堂教学中的引入与运用

在以往构件设计章节的课堂教学中,基本遵循先介绍原理,再讲授计算公式,最后进行构件承载力及配筋设计这样的一个顺序。这种教学方式虽然符合循序渐进的方式,但学生始终处于一个被动接受的状态,缺乏主动思考过程。钢筋混凝土结构课程本身具备很强的工程实践性,以构件为主体的讲授缺乏对学生工程能力的培养,使得其虽然会做题,但对构件与整体结构的关系仍缺乏了解。工程事故案例的引入则较好地弥补了上述课堂教学的不足。首先,在教学手段上充分利用多媒体等现代技术,发挥其交互、生动、形象的特点,将实际工程事故案例形象逼真地演示,将工地搬进课堂,营造真实的工程氛围。在演示中着重展现这些事故案例中整体结构及某些细部的破坏形态,让学生“观其形、辩其意”。其次,在引入的时机上应在学生对本章学习内容有个初步了解之后,并在讲授计算原理之前。在学生明确本章学习任务之后,对相关知识内容形成了初步的印象,此时可通过事故案例的介绍让学生快速进入工程实战状态,激发其对设计建筑物所需理论知识的渴望和兴趣,形成主动学习的内动力。因此在时机的把握上教师应做到“审其时,度其势”。在这一阶段教师以提出问题为主,让学生主动思考事故的原因及产生的后果。

在以工程事故案例为背景提出问题后,可依照课程安排继续从原理及计算方面进行课堂教学,最后组织学生对工程事故案例进行讨论。需要强调的是,在案例引入环节对于事故原因的讨论主要以定性为主,而在事故案例的讨论中应着重依据已学习的相关内容进行分析。如在受弯构件正截面承载力计算的相关案例分析中,可引导学生根据梁的跨度,估算其采用的截面尺寸,进而结合实际配筋截面面积  $32\text{cm}^2$  与设计配筋面积  $38\text{cm}^2$ ,计算两种配筋情况下梁抗弯承载力的不同。此外,对于工程事故案例的讨论可结合当前工程界的一些主流技术手段进一步拓展讨论内容。如假定该梁在当前配筋条件下未发生垮塌事故,为了提高其承载力,可进行的加固修复手段有当今工程界广为采用的粘钢法、碳纤维布加固法、植筋法等,这些手段可进行介绍。通过上述对于工程事故案例分析的有效运用,帮助学生在一个真实的工程背景下将所学知识串联起来,

提高其对知识点的理解与掌握。在培养学生理论联系实际能力的同时,也夯实了其理论根底并锻炼了实际结构设计能力,同时通过对事故案例的延伸,向其介绍了工程界与所学知识点相关的一些新技术、新方法,有效地拓展其工程视野,增强其对本专业的兴趣与热爱。

## 三、运用事故案例分析方法应注意的问题

钢筋混凝土结构课程是与现行规范紧密结合的,《混凝土结构设计规范》(简称《规范》)是对混凝土结构的设计、施工的基本原理、计算方法、具体实施的规范性要求。钢筋混凝土结构课程对现行规范进行了全面、具体的解读。随着国民经济的发展、科学技术水平的提升,工程与学术界对相关条文内容认识的加深,《规范》的内容会不定期地进行修订和调整<sup>[8]</sup>。工程事故的案例都对应某一固定时间,其建筑主体的设计与施工也是遵循该时间所对应的《规范》,从当前执行的《规范》角度来看,随着时间的推移其具体的计算方法可能已经发生调整。如斜截面抗剪承载力计算公式,在2002版《规范》中对受剪承载力的计算区分为集中荷载独立梁和一般受弯构件,而2010版《规范》则将两种情况合并为一个公式计算,对于原有受弯构件两个斜截面承载力公式进行了调整,保持混凝土项系数不变,将一般受弯构件箍筋项系数由1.25改为1.0。这个变化对承载力计算结果会产生一定影响,在相同配箍率下,2010版《规范》计算的抗剪承载力要大于2002版《规范》的计算结果。此外在材料的选用方面,随着对于节能减排要求的提升,2010版《规范》更加强调应用高强、高性能的钢筋,并淘汰了低强钢筋。对于受力钢筋的选择也进行了明确规定,如梁、柱纵向受力钢筋不能使用HRB335钢筋,而需采用HRB400、HRBF400、HRB500、HRBH500钢筋。这可能会造成现行规范材料的选用与事故案例材料有所冲突,这就需要教师对《规范》的相关修订有着准确的把握,在教学过程中结合案例的时间点对比《规范》相关修订内容进行详细的讲解,使学生了解《规范》修订的背景和原则,掌握修订的内容,以便在以后的工作中更好地执行与使用。

## 四、结语

钢筋混凝土结构是一门理论与实践紧密结合的课程,既具有系统的科学理论又有很强的工程应用概念。通过引入实际工程的事故案例分析,启发学

生思考,有效地激发其学习兴趣,同时通过对事故案例的定量分析计算,确保其对于重点知识内容的了解和掌握,开阔了学习视野,提高了专业素养,为毕业后从事相关工作奠定坚实基础,提高了从业的安全意识与责任感。

#### 参考文献:

- [1]张辉,周红波,高原.大型钢筋混凝土建筑结构事故案例统计分析[J].建筑技术,2010,41(7):656-658.
- [2]王立成,刘毅.专业课程教学中创新思维的培养途径研究[J].大连理工大学学报:社会科学版,2009,30(S2):22-24.

- [3]梁晓春.工程事故相关概念辨析[J].建筑安全,2013(8):14-17.
- [4]贾瑞庆,肖琦,龚静.建筑质量工程事故综述(二).东北电力学院学报,2003,23(6):65-69.
- [5]畅君文.框架边梁受扭开裂事故分析[J].工业建筑,1990(6):50-51.
- [6]刘松平.钢筋混凝土桥梁裂缝成因分析与加固措施研究[D].浙江大学,2012.
- [7]党海军,朱尔玉.35m预应力混凝土箱梁锚垫板张拉破坏事故分析与处理[J].铁道建筑技术,2010,(4):59-61.
- [8]王立成.2010版《混凝土结构设计规范》与混凝土结构课程教学内容的调整.高等建筑教育,2013,22(4):55-58.

## Introduction and application of engineering accident case analysis in the teaching process of reinforced concrete structure course

DONG Wei, XU Bohan, WANG Licheng

(School of Civil Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, P. R. China)

**Abstract:** Reinforced concrete structure course is a compulsory subject for students majoring in civil engineering, which is also a significant theoretical foundation for their future design and construction. Engineering accidents are often caused because of defects of materials, construction and design. Based on the structural analysis, these accidents can be considered as the large deformation and failure of the load-carrying members, e. g., beam, column and plate. In the teaching process, theoretical analysis of selective cases combining with the main points of the course can strengthen students' understanding of the knowledge topics and improve their safety awareness. Meanwhile, reinforced methods and preventive measures can be proposed according to the knowledge from the course. This pattern based on practical engineering can develop students' interests in reinforced concrete structure course and establish a theoretical foundation for their further design and construction.

**Keywords:** reinforced concrete structure; engineering accident; case study; teaching research

(编辑 欧阳雪梅)